

# **The use and effects of ionizing radiation in: power electronics and optoelectronics**

**Gianluca Breglio  
Opto-Power Electronic group  
@DIETI**



# **Utilizzo di impiantazione per incrementare le prestazioni in commutazione di dispositivi di potenza a semiconduttore**



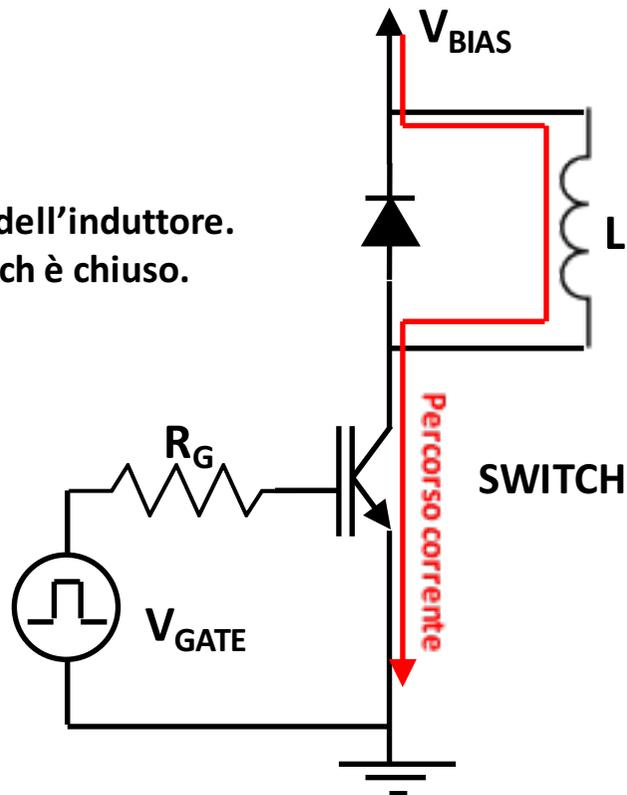


# Perdite in commutazione su carico induttivo

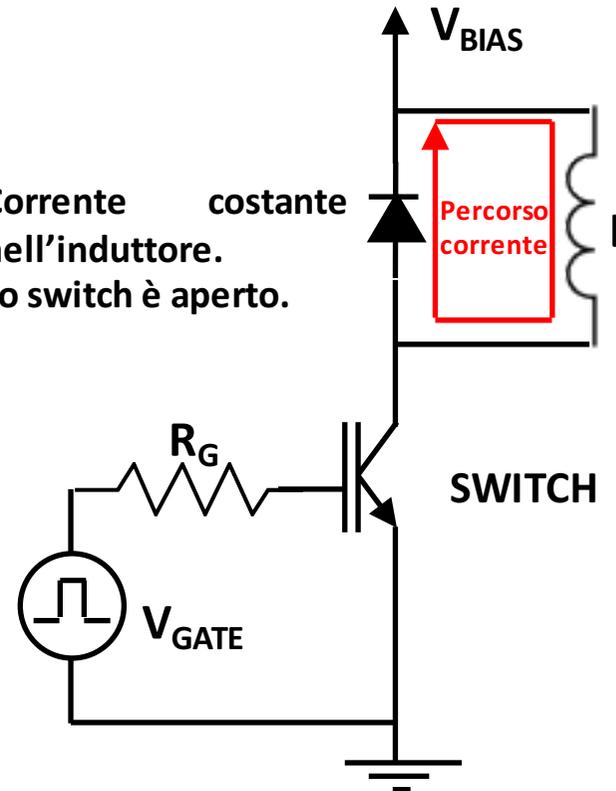


Una condizione operativa tipica in cui si trovano a essere inseriti dispositivi di potenza in semiconduttori è la commutazione su carico induttivo (L). Un tipico esempio è il pilotaggio di un motore elettrico.

Carica dell'induttore.  
Lo switch è chiuso.

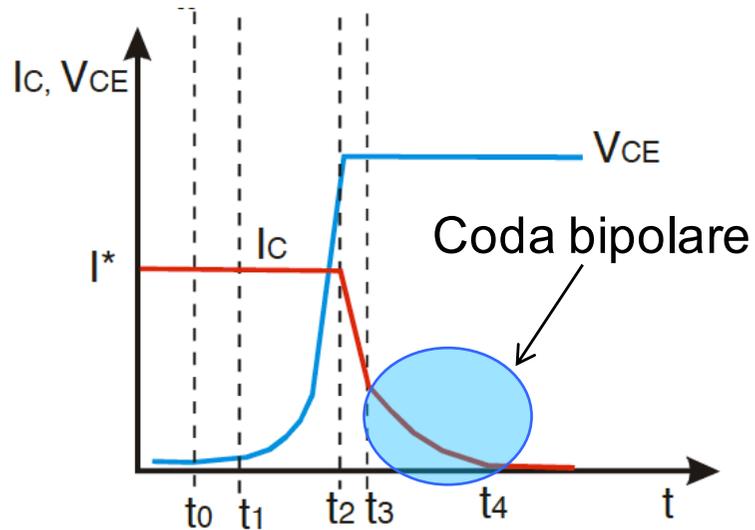


Corrente costante  
nell'induttore.  
Lo switch è aperto.

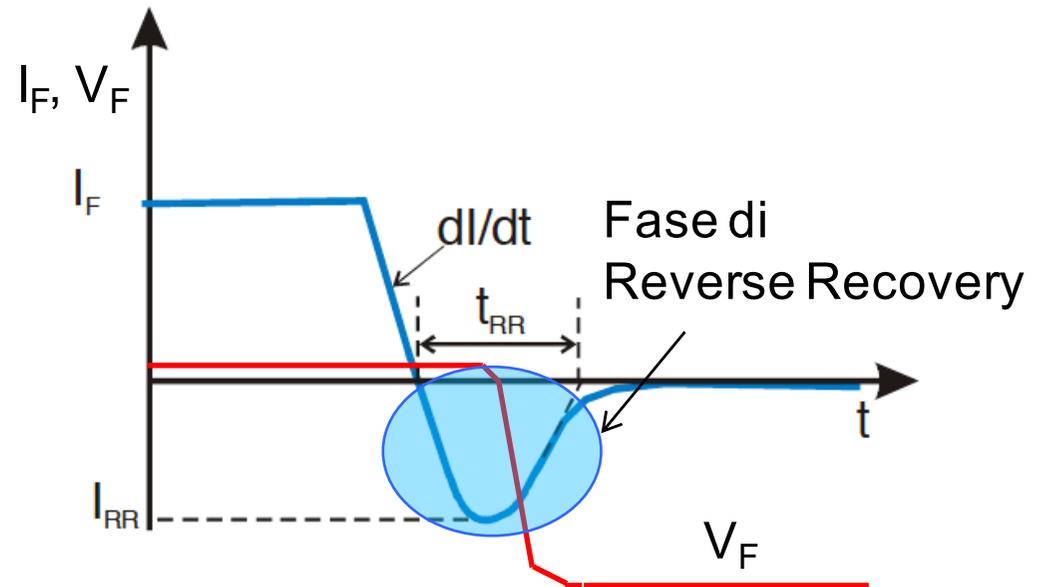




## Spegnimento SWITCH (IGBT)



## Spegnimento DIODO



- Nelle regioni evidenziate si ha un'elevata tensione ed una elevata corrente, dunque una elevata potenza dissipata in commutazione.
- Sia negli IGBT che nei DIODI tali fasi possono essere ridotte temporalmente, dunque in termini di energia, riducendo tempo di vita (**lifetime**) dei portatori liberi con l'utilizzo di tecniche di **lifetime killing**.



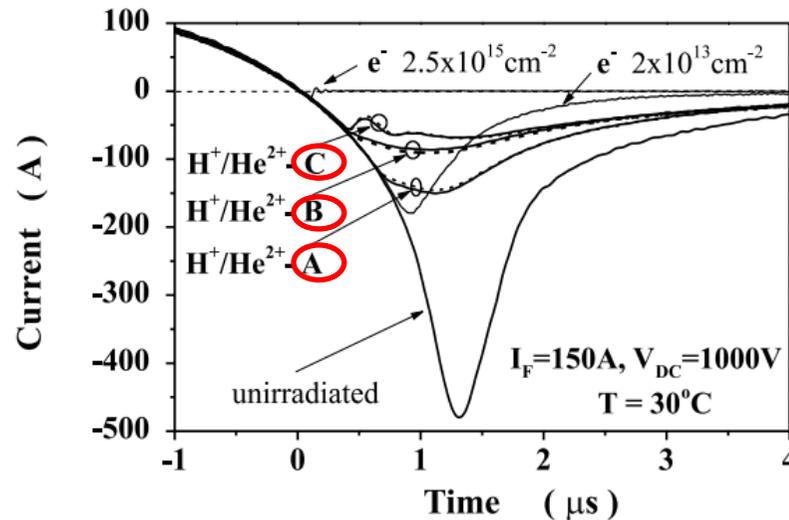
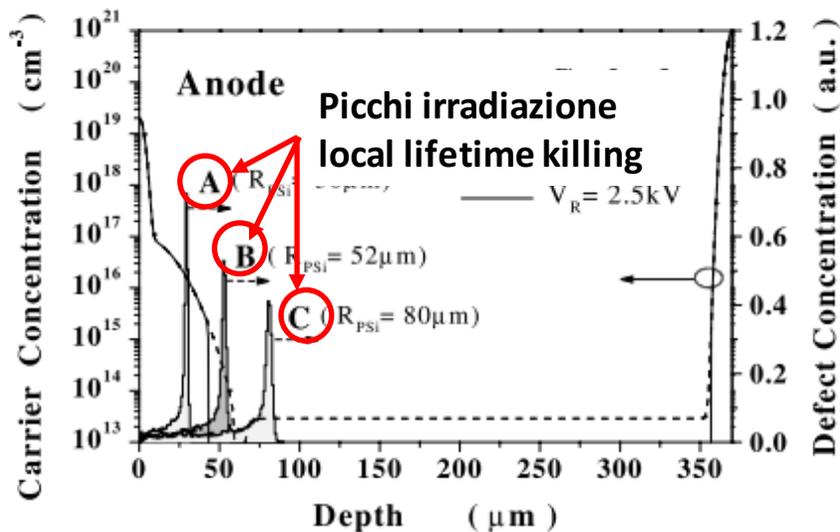
# Tecniche di lifetime killing per aumentare le prestazioni dei dispositivi elettronici di potenza in semiconduttore



I profili di irradiazione possono essere **uniformi** lungo la struttura del dispositivo o essere **localizzati** in zone specifiche, in cui la variazione di lifetime apporta grosse variazioni alle prestazioni del dispositivo.

Attualmente si adottano entrambe le tipologie per ottimizzare il lifetime nei dispositivi di potenza.

Di seguito un esempio di **lifetime killing** applicato a un **diodo di potenza**



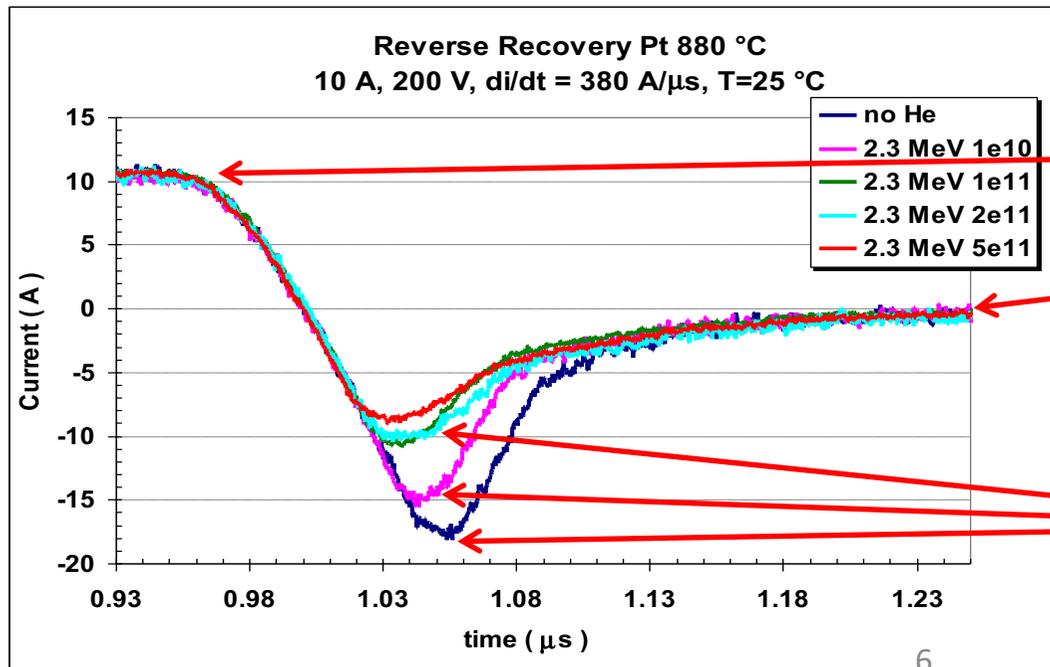
- $E_{e^-} = 4.5 \text{ MeV}$
- $E_{H+A} = 1.8 \text{ MeV}$
- $E_{H+B} = 2.4 \text{ MeV}$
- $E_{H+C} = 3.0 \text{ MeV}$
- $E_{He2+A} = 7.1 \text{ MeV}$
- $E_{He2+B} = 9.6 \text{ MeV}$
- $E_{He2+C} = 12.1 \text{ MeV}$



# Tecniche di lifetime killing per aumentare le prestazioni dei dispositivi elettronici di potenza in semiconduttore (Attività gruppo di Elettronica di potenza – Federico II)



- ✓ Helium implantation is exploited in electronic power devices for tailoring the switching transients.
- ✓ The goal is the increasing of the operating frequency and the reduction of the power losses.
- ✓ Helium is preferred over protons because allows finer localization



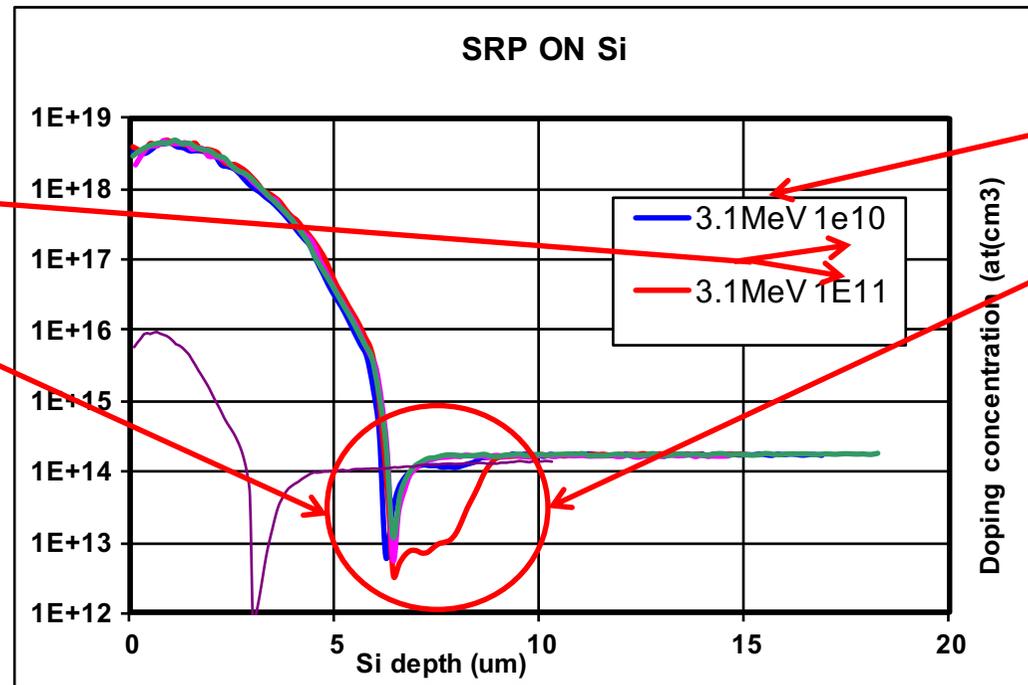
The figure shows the transition of a power diode from the conducting state (10 A forward current) to the interdiction state (0 A).

Increasing doses of He allow both reduced **peak reverse current** and reduced recovery time.



## The effects of Helium implantations can be macroscopically observed by means of resistivity measurements

The figure shows that doses greater than  $10^{10} \text{ cm}^{-2}$  produce clearly observable effects



Ion energy affects the depth of the damaged region.

Usual applications require a projected range within  $15 \mu\text{m}$ , compatible with beam energies lower than  $6 \text{ MeV}$



## Effetti su prestazioni dispositivi di potenza:

- ✓ miglioramento prestazioni in commutazione a discapito della caduta in conduzione
- ✓ Definizione accurata dei profili di lifetime nella struttura trattata.
- ✧ Instabilità in temperatura.

## Elementi utilizzati:

- ✓ Ioni Elio ( ${}^4\text{He}^{2+}$ )
- ✓ Ioni Idrogeno ( ${}^1\text{H}^+$ )
- ✓ Elettroni ( $e^-$ )

Il valore massimo di energia necessario alla definizione di profili più profondi è nell'ordine di **12 MeV**, per dispositivi attualmente in commercio.

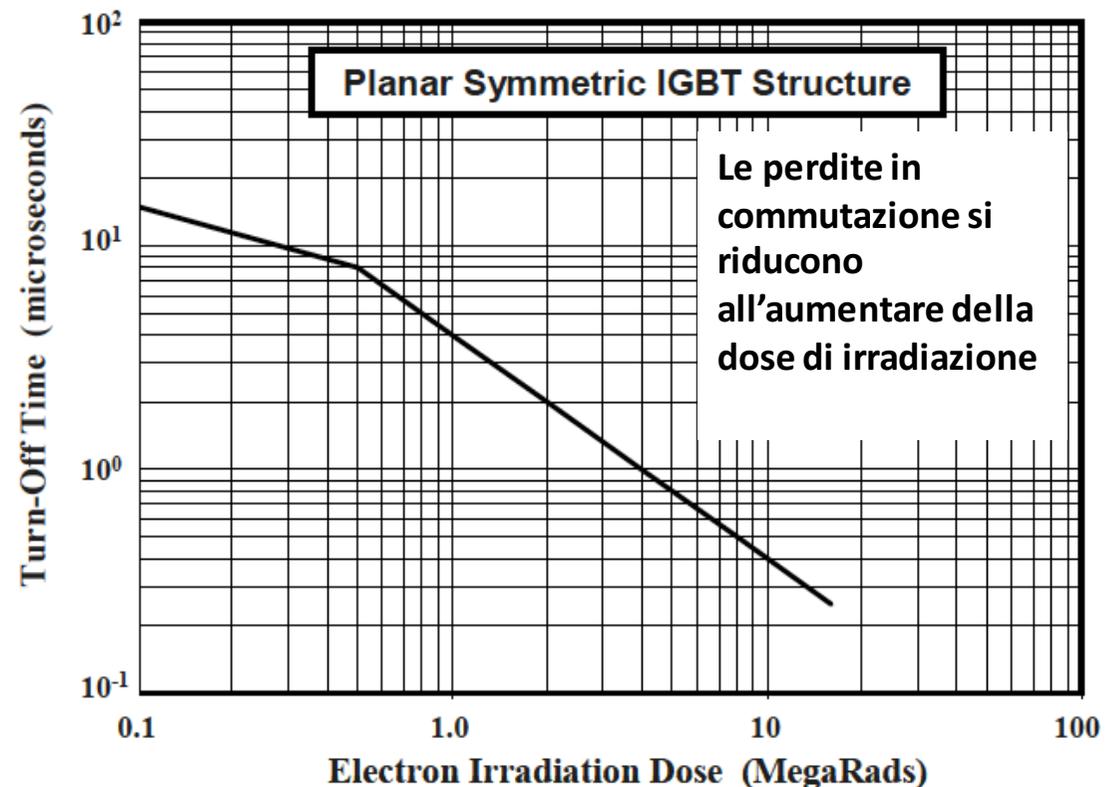


## Tecniche di lifetime killing per aumentare le prestazioni dei dispositivi elettronici di potenza in semiconduttore



L'introduzione di centri di ricombinazione in dispositivi in semiconduttore, tramite l'impiantazione di **idrogeno**, **elio** ed **elettroni**, è ampiamente utilizzato per:

- Incrementare la velocità di commutazione di dispositivi bipolari come DIODI, IGBT, ampiamente utilizzati nel campo dell'elettronica di potenza
- Ridurre le dimensioni dei dispositivi passivi (induttori e capacità) dei circuiti di potenza, tramite aumento velocità commutazioni. Ciò riduce i costi del sistema.



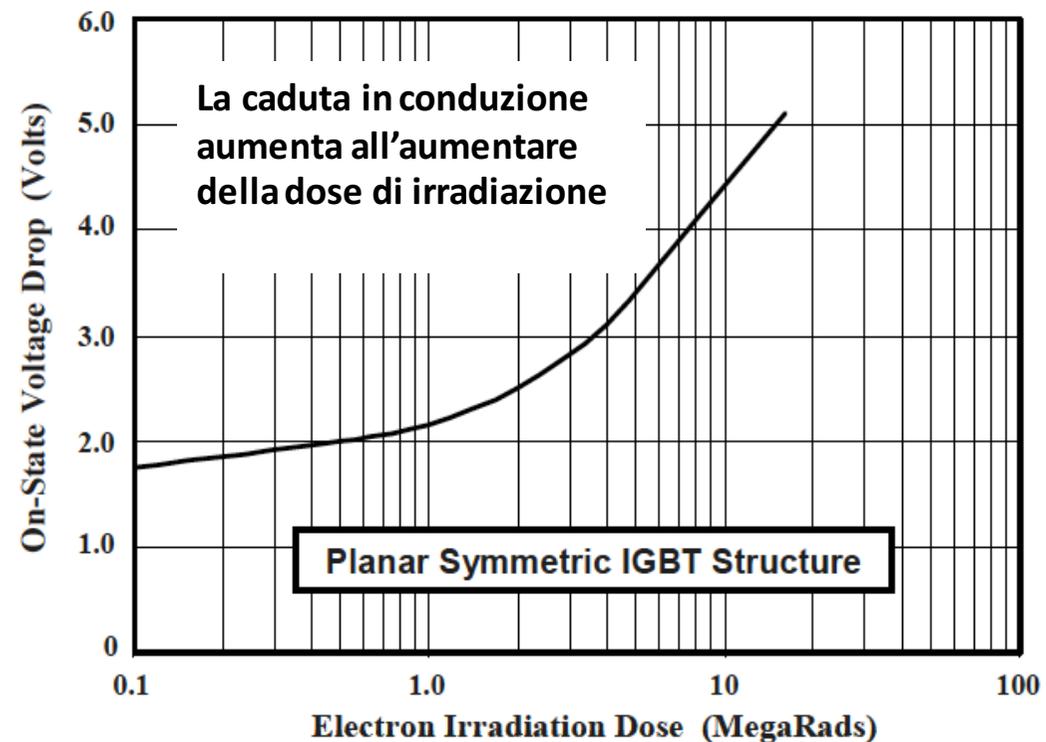


## Tecniche di lifetime killing per aumentare le prestazioni dei dispositivi elettronici di potenza in semiconduttore



L'introduzione di centri di ricombinazione in dispositivi in semiconduttore, tramite il bombardamento di **idrogeno**, **elio** ed **elettroni**, è ampiamente utilizzato per:

- Incrementare la velocità di commutazione di dispositivi bipolari come DIODI, IGBT, ampiamente utilizzati nel campo dell'elettronica di potenza
- Ridurre le dimensioni dei dispositivi passivi (induttori e capacità) dei circuiti di potenza, tramite aumento velocità commutazioni. Ciò riduce i costi del sistema.





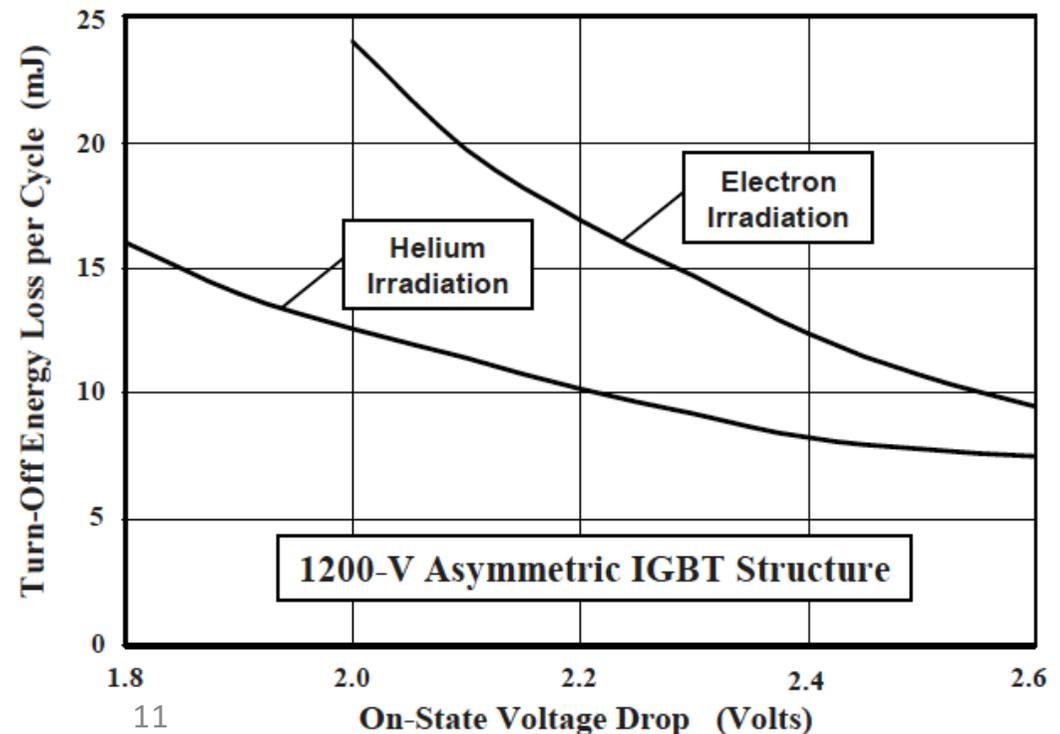
## Tecniche di lifetime killing per aumentare le prestazioni dei dispositivi elettronici di potenza in semiconduttore



L'introduzione di centri di ricombinazione in dispositivi in semiconduttore, tramite l'impiantazione di **idrogeno**, **elio** ed **elettroni**, deve essere ottimizzata:

- L'incremento della velocità di commutazione di dispositivi bipolari come DIODI, IGBT, ampiamente utilizzati nel campo dell'elettronica di potenza permette inoltre di
- Ridurre le dimensioni dei dispositivi passivi (induttori e capacità) dei circuiti di potenza, tramite aumento velocità commutazioni. Ciò riduce i costi del sistema.

La dose di irradiazione va ottimizzata in modo da aumentare la velocità di commutazione e non compromettere accessivamente la caduta in conduzione

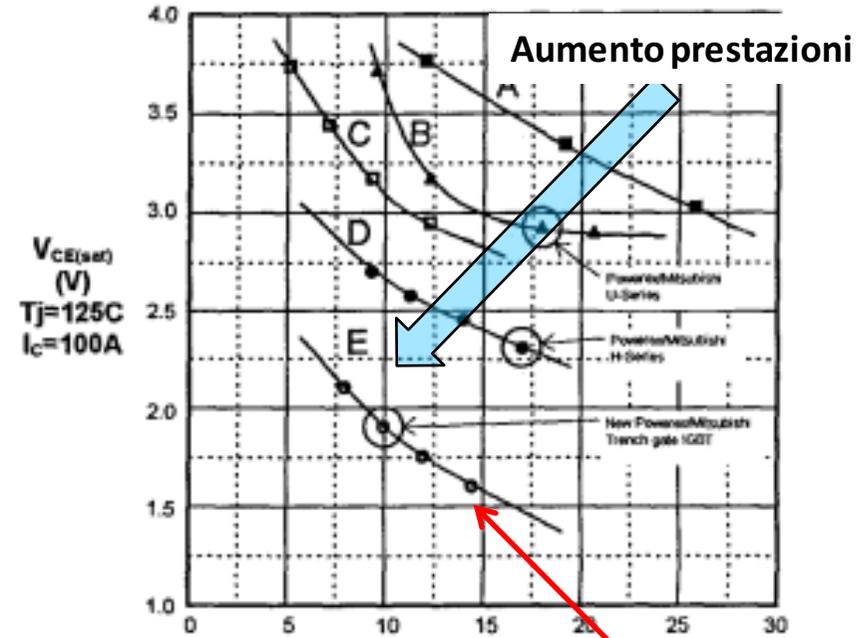
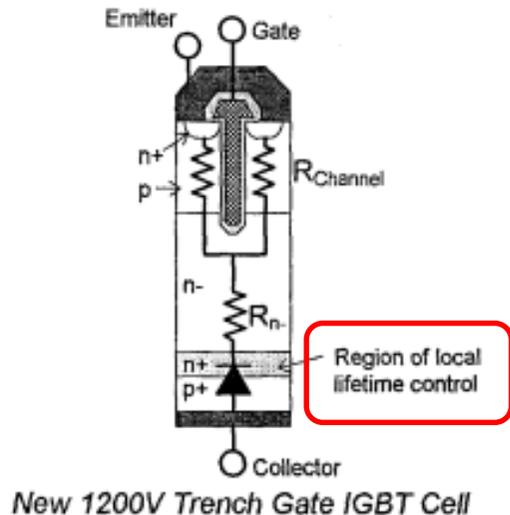
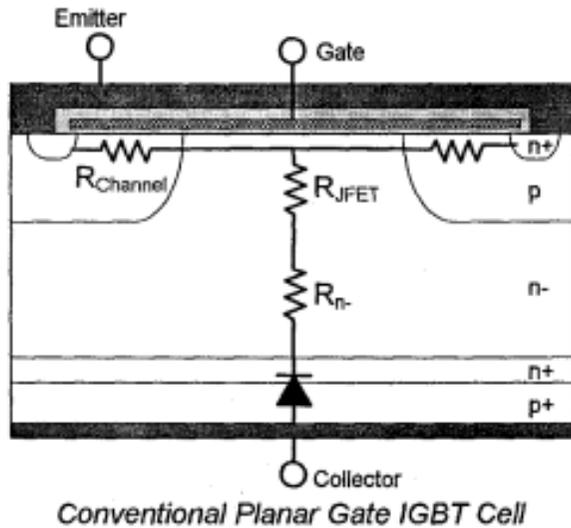




# Tecniche di lifetime killing per aumentare le prestazioni dei dispositivi elettronici di potenza in semiconduttore



Di seguito un esempio di **lifetime killing** applicato a una struttura IGBT da 1200V



- A: Conventional NPT,  $t_{dr}=250\mu m$ ,  $J_c=100A/cm^2$
- B: PT planar gate uniform lifetime control,  $J_c=100A/cm^2$
- C: Thin Drift Region NPT,  $t_{dr}=150\mu m$ ,  $J_c=100A/cm^2$
- D: PT planar gate uniform lifetime control,  $J_c=75A/cm^2$
- E: PT trench gate local lifetime control,  $J_c=140A/cm^2$

# Effetti delle Radiazioni Ionizzanti su sensori in Fibra a reticolo di Bragg e strutture Optoelettroniche

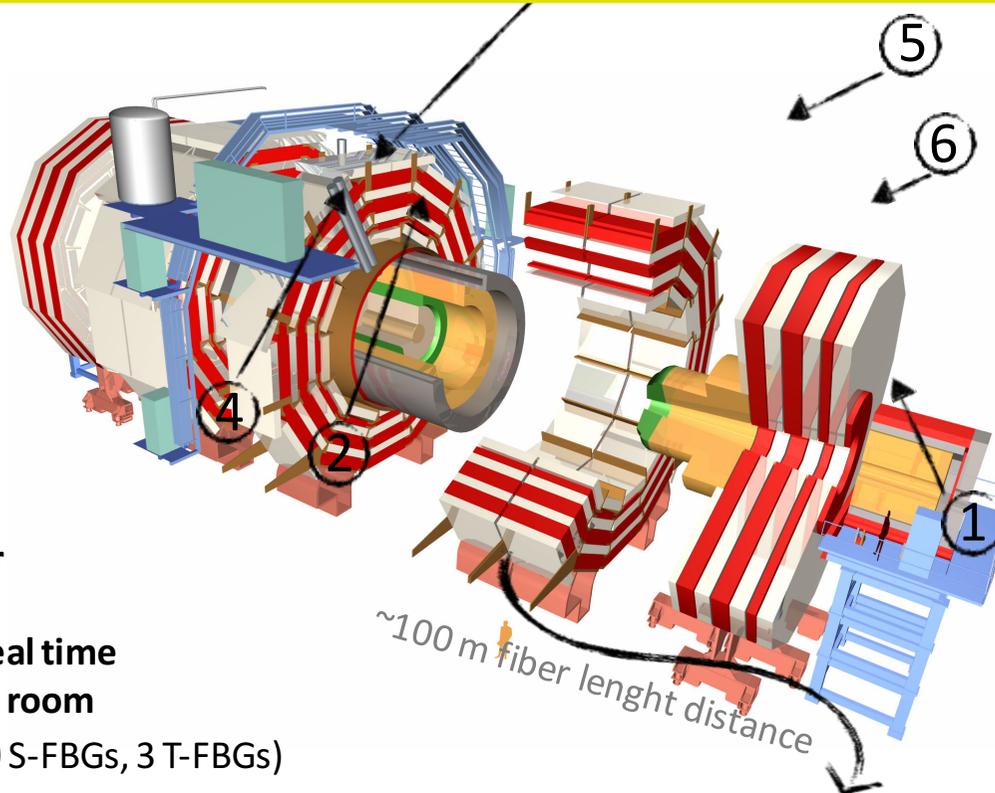




# FBG monitoring systems for CMS



Total weight: **14000 tonnes**  
 Overall diameter: **15.0 m**  
 Overall length: **28.7 m**  
 Magnetic field: **3.8T**



Rack in Detector Cavern (UXC) 100 m underground

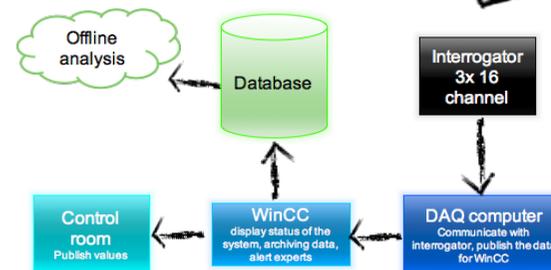


Rack in Service Cavern (USC) 70 m underground



**24/7 data taking**  
**3x16 channel interrogator**  
**Oracle data base storage**  
**Display/provide data in real time**  
**Integrated in CMS control room**

1. HF region both sides (30 S-FBGs, 3 T-FBGs)
2. Tracker bulkhead both sides (120 RH-FBGs)
3. Experimental Cavern (60 T-FBGs)
4. PLT T-sensors (60 T-FBG)
5. RPC disks (432 T-FBGs)
6. YE4 both sides (15 T-FBGs, 35 S-FBGs)
7. Central beam pipe (36 T-FBGs, 28 S-FBGs)



Operation in harsh environment: 4 T magnetic field and high level of radiation (up to MGy)

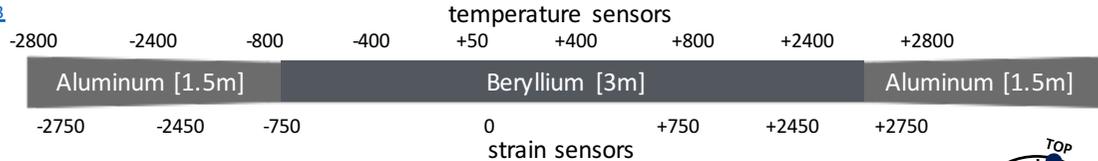
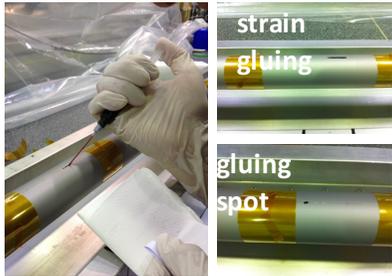


# iPipe project: CMS beam pipe monitoring with FBG

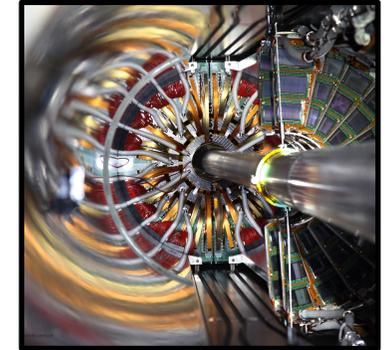
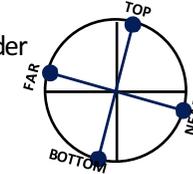


## gluing of the FBG sensors

<https://edms.cern.ch/document/1357713/1/TAB3>

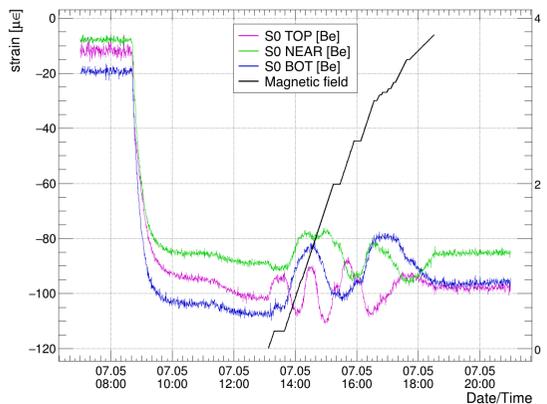


- 4 fibers on cardinal positions on beam pipe cross section with 15° tilt in order to cope with the Pixel installation procedure.
- 16 sensors on each fiber: 9 temperatures (left free) and 7 strains (glued on the pipe with Stycast 2850 FT).



## B-field induced strain on CMS beam pipe

complex mechanical motion on few hours baseline

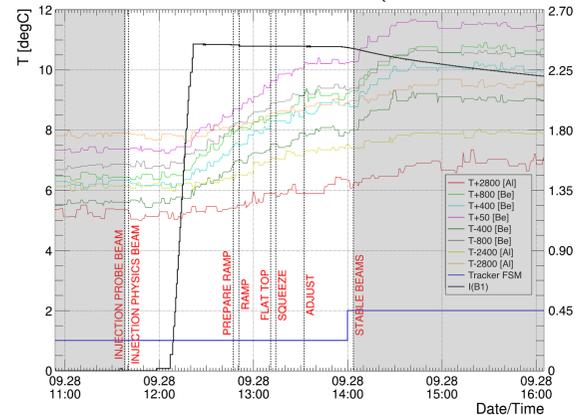


< 30 µε maximum deformation

solid proof of the reliability of the iPipe strain measurements

## Beam induced RF heating

$$P_{loss} = 2(eMN_b f_{rev})^2 \left( \sum_{p=1}^{\infty} \text{Re}[Z_{long}(2\pi p M f_{rev})] \times \text{Powerspectrum}(2\pi p M f_{rev}) \right)$$



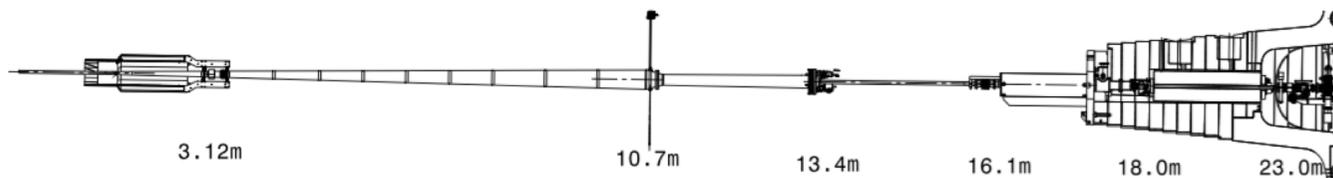
temperature increase directly related to the presence of the circulating proton beams in the vacuum chamber

linear correlation between  $P_{loss}$  and the number of bunches (M) confirmed by iPipe measurements

Very promising approach for thermal monitoring of LHC elements: new collaboration with the BE-ABP-HSC group at CERN

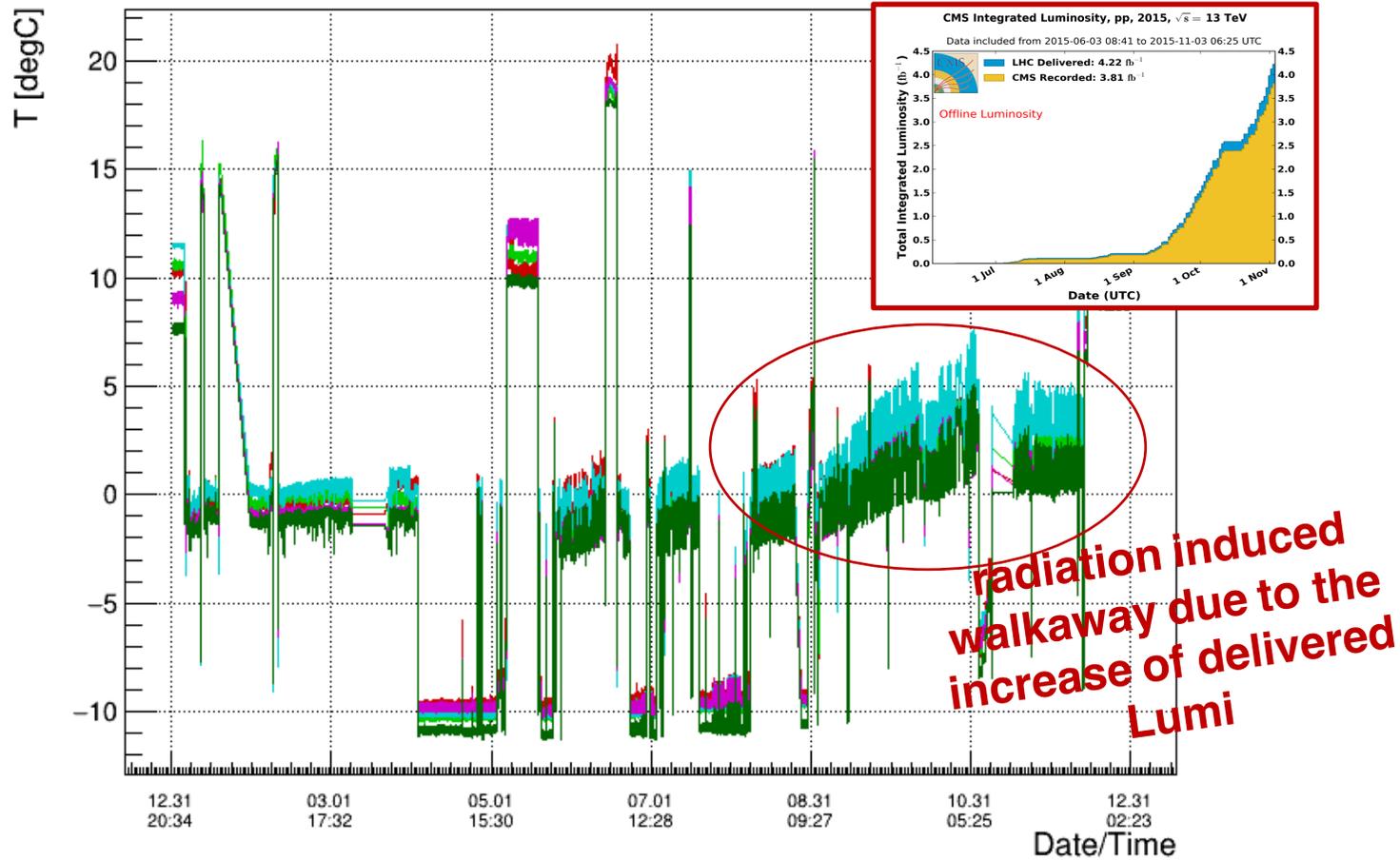
The system has been upgraded in March 2017 to monitor the beam RF heating of the CMS beam pipe at +/-10.7m

During LS2 the iPipe system will be extended to the full length of the CMS beam pipe





# Radiation induced walkaway





# FBG in radiation environments

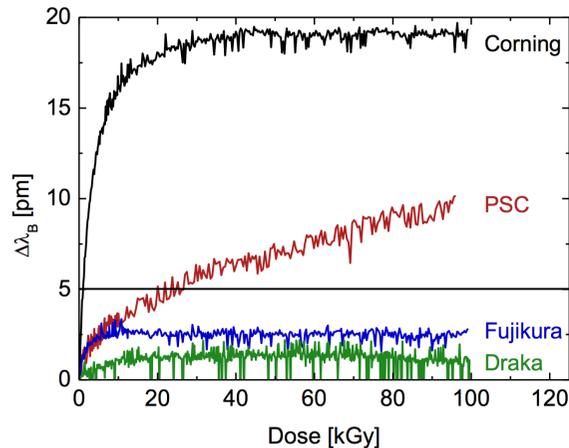


Ionizing radiation causes a shift of the Bragg wavelength (BWS)  
but do not affect the FBG sensitivity

The magnitude of the BWS (exhibiting a saturated trend)  
depends on several parameter:

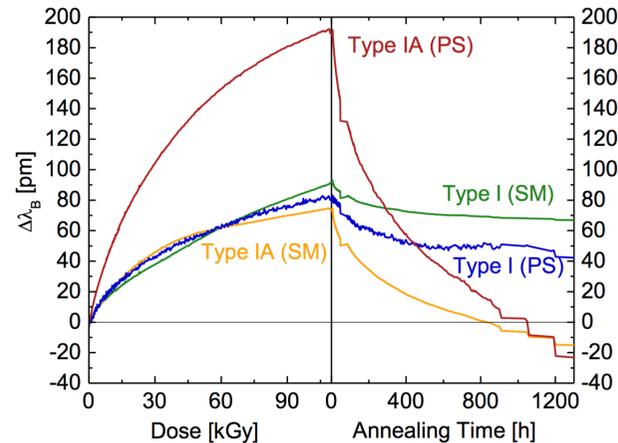
## fiber type

dopants concentration



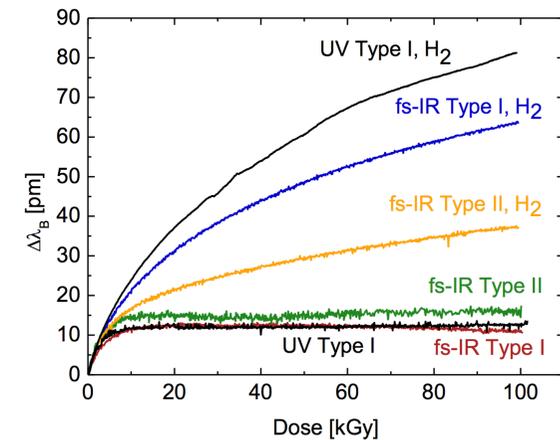
## grating type

w/o hydrogen-loading



## writing technology

UV / femtosecond

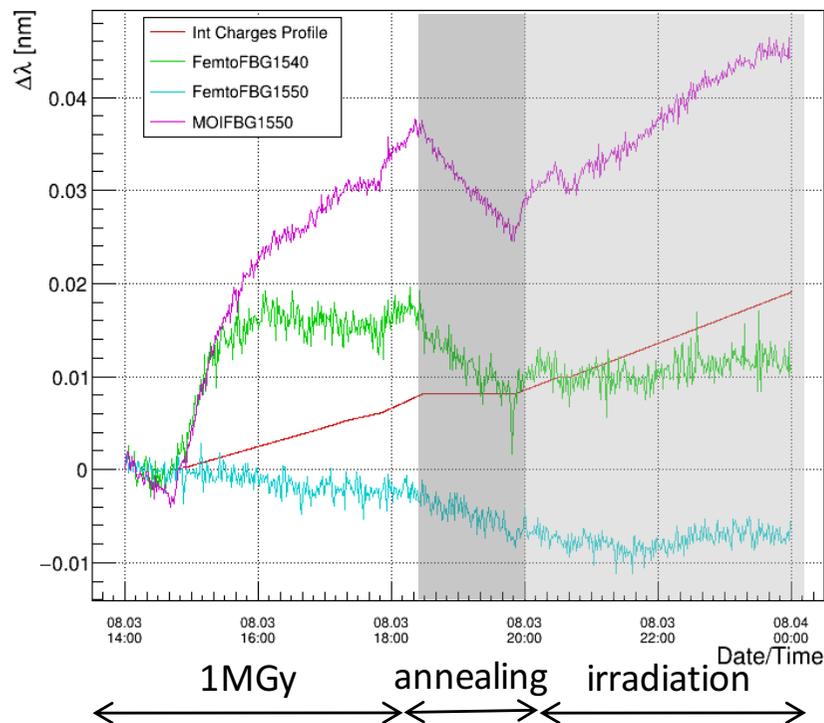


## irradiation parameter

dose rate, temperature



Experimental campaign performed at IRRAD (CERN) to test the response of different FBG to high energy (24 GeV) protons radiation



BWS at 1MGy total delivered dose\*

- Standard FBG in SMF-28 fiber:  $\sim 30\text{pm}$
- Femto FBG in SMF-28 fiber:  $\sim 20\text{pm}$
- Femto FBG written in rad-hard fiber:  $\sim 0\text{pm}$

Behaviour after the annealing is related to the grating type. Need to be better understood with future studies.

\*in  $1\text{cm}^2$  of Al:

Radiation hardness studies can be performed in a controlled and custom way at the Napoli TTT-3 Tandem with protons and **neutrons** in order to understand the behaviour of the FBG sensors when they are operated in a radiation environment with the aim of parametrize the FBG radiation sensitivity.



# Irradiation of prototype of fiber optic dosimeter based on LOF



TTT-3 Tandem  
(6MeV protons)



IRRAD  
(24GeV protons)

